หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

รอยต่อโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

ในบทนี้จะพิจารณาว่ากำแพงศักย์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากโลหะถูกนำมาต่อกับสารกึ่งตัวนำเกิดขึ้นเพราะอะไร และควรจะทำอย่างไรถ้าไม่ต้องการให้เกิดกำแพงศักย์

4.1 สาเหตุของการเกิดกำแพงศักย์ [181]

การเกิดกำแพงศักย์เนื่องจากโลหะต่อกับสารกึ่งตัวนำมีสาเหตุเพราะ

ก. ค่าเวิร์คฟังก์ชัน (work function) ของโลหะกับของสารกึ่งตัวนำไม่สอดคล้อง (matching) กัน

ข. เกิดมีสถานะผิว (surface state)บนผิวของสารกึ่งตัวนำ สถานะผิวนี้เกิดจากการสิ้นสุดความเป็นคาบที่ผิวของผลึก

ค. มีชั้นบาง ๆ ของสารอื่นที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ ชั้นบาง ๆ นี้ทำให้เกิดกำแพงศักย์ขึ้นได้ เพราะเหตุผลข้อ ก และ ข

4.1.1 กำแพงศักย์เกิดจากความไม่สอดคล้องของเวิร์คฟังก์ชันของโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

ก่อนอื่นจะกล่าวถึงนิยามของเวิร์คฟังก์ชันและอิเลกตรอนแอฟฟินิตี (electron affinity) เสียก่อน

เวิร์คฟังก์ชันของโลหะคือ W_m หมายถึงพลังงานที่ใช้ในการยกอิเลกตรอนจากระดับเฟอร์มิ (Fermi level) ของโลหะไปยังระดับสุญญากาศ (vacuum level) ของโลหะ

เวิร์คฟังก์ชันของสารกึ่งตัวนำคือ W_S หมายถึงพลังงานที่ใช้ในการยกอิเลกตรอนจากระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำไปยังระดับสุญญากาศของสารกึ่งตัวนำ

อิเลกตรอนแอฟฟินิตีของสารกึ่งตัวนำคือ χ_S หมายถึงพลังงานที่ใช้ในการยกอิเลกตรอนจากขอบล่าง (bottom edge) ของแถบนำของสารกึ่งตัวนำไปยังระดับสุญญากาศของสารกึ่งตัวนำ

ถ้าโลหะมีค่าเวิร์คฟังก์ชัน w_m ถูกนำมาต่อกันกับสารกึ่งตัวนำที่มีค่าเวิร์คฟังก์ชัน w_s และมีค่าอิเลกตรอนแอฟฟินิตี χ_s

และถ้าเวิร์คฟังก์ชันของโลหะไม่เท่ากับของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งก็คือระดับเฟอร์มิของทั้งสองไม่เท่ากัน อิเลกตรอนอิสระจะไหลจากตัวที่มีเวิร์คฟังก์ชันน้อยคือตัวที่ระดับเฟอร์มิสูงกว่าไปยังตัวที่มีเวิร์คฟังก์ชันมากคือตัวที่มีระดับเฟอร์มิต่ำกว่า ความหนาแน่นของอิเลกตรอนอิสระของสารกึ่งตัวนำจะไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้เกิดการโค้งของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งการโค้งนี้อาจทำให้เกิดกำแพงศักย์ขึ้นได้ เพื่อความเข้าใจจะแบ่งการพิจารณาเป็น 4 ขั้นตอน ดังในรูป 4.1 คือ

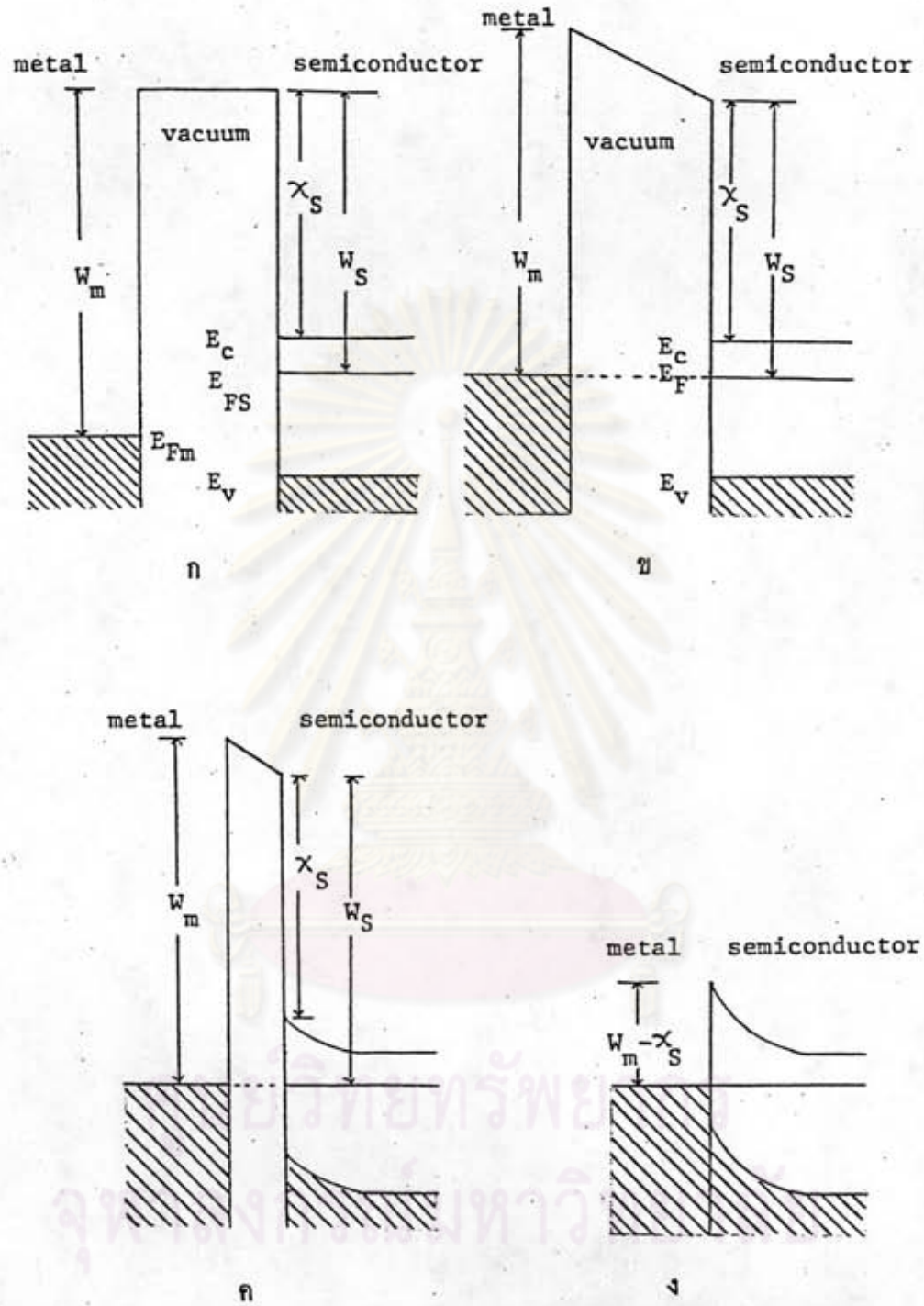
ก. เมื่อโลหะกับสารกึ่งตัวนำอยู่ห่างกัน

ข. เมื่อโลหะและสารกึ่งตัวนำอยู่ในสมดุลย์ความร้อน (thermal equilibrium) แต่ยังคงอยู่ห่างกัน

ค. พิจารณาต่อจากข้อ ข โดยขยับให้โลหะและสารกึ่งตัวนำเข้าใกล้กัน

ง. พิจารณาต่อจากข้อ ค เมื่อโลหะติดกันกับสารกึ่งตัวนำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงการเกิดกำแพงศักย์เนื่องจากโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เมื่อ $W_m > W_S$

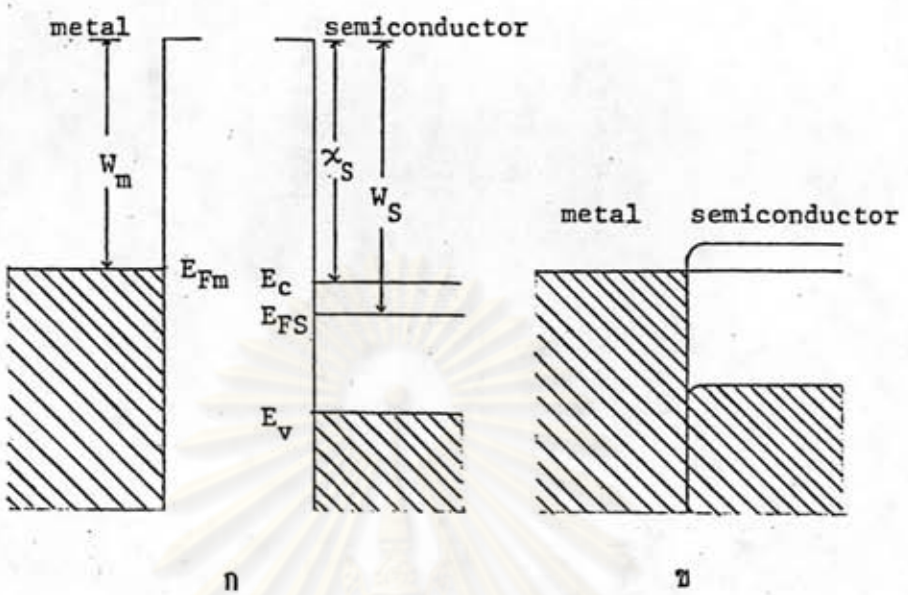
รูป 4.1 ก. แสดงให้เห็นระดับพลังงานของโลหะและของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โดย $w_m > w_s$ เมื่ออยู่ห่าง ๆ กัน เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนในรูป 4.1 ก. นี้ สมมุติให้ระดับสุญญากาศของโลหะเป็นระดับเดียวกับระดับสุญญากาศของสารกึ่งตัวนำ

รูป 4.1 ข. แสดงเมื่อโลหะและสารกึ่งตัวนำอยู่ในสมดุลย์ความร้อน แต่ยังคงอยู่ห่างกัน ซึ่งทำได้โดยการต่อสายไฟเข้ากับโลหะและสารกึ่งตัวนำในรูป 4.1 ก. เนื่องจากระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำสูงกว่าของโลหะ อิเลกตรอนอิสระจึงไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ โดยจะหยุดไหลเมื่อระดับเฟอร์มิของทั้งสองเท่ากัน ถ้าโลหะกับสารกึ่งตัวนำอยู่ห่างกันเป็นอนันต์ (infinity) จะมีประจุลบกระจายอย่างสม่ำเสมอในโลหะ และจะมีประจุบวกกระจายอย่างสม่ำเสมอในสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้ความหนาแน่นของอิเลกตรอนอิสระกระจายอย่างสม่ำเสมอในสารกึ่งตัวนำ แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำจึงไม่โค้ง

รูป 4.1 ค. เมื่อขยับรูป 4.1 ข. ให้โลหะและสารกึ่งตัวนำเข้าใกล้กันตรงใกล้ ๆ รอยต่อทางด้านโลหะจะเห็นมีประจุลบเพิ่มขึ้น และตรงใกล้ ๆ รอยต่อทางด้านสารกึ่งตัวนำจะเห็นมีประจุบวกเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของอิเลกตรอนอิสระของสารกึ่งตัวตรงใกล้ ๆ รอยต่อจะลดลง แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำตรงใกล้ ๆ รอยต่อจึงโค้งขึ้น [19]

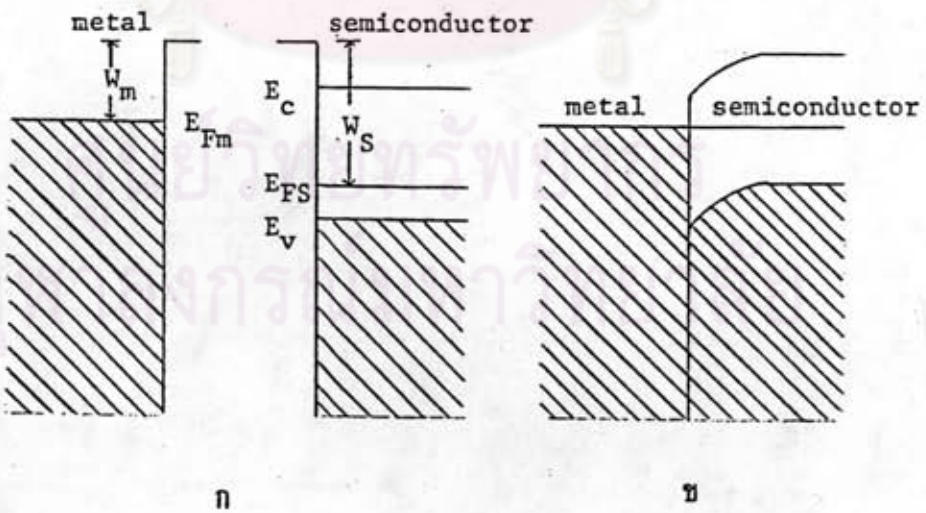
รูป 4.1 ง. เมื่อโลหะติดกับสารกึ่งตัวนำ ความหนาแน่นของอิเลกตรอนอิสระของสารกึ่งตัวนำตรงใกล้ๆ รอยต่อจะลดลงอีก แถบพลังงานจึงโค้งขึ้นอีก การโค้งของแถบพลังงานจะเป็นกำแพงศักย์คอยขวางกั้นการไหลของอิเลกตรอนอิสระ เรานิยามว่าความสูงของกำแพงศักย์ในกรณีนี้คือ $w_m - \chi_s$

ในกรณีสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ถ้า $w_m < w_s$ อิเลกตรอนอิสระจะไหลจากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ และแถบพลังงานจะโค้งลงดังรูป 4.2 รอยต่อแบบนี้เป็นรอยต่อแบบโอห์มมิค ซึ่งเป็นรอยต่อที่เราต้องการ

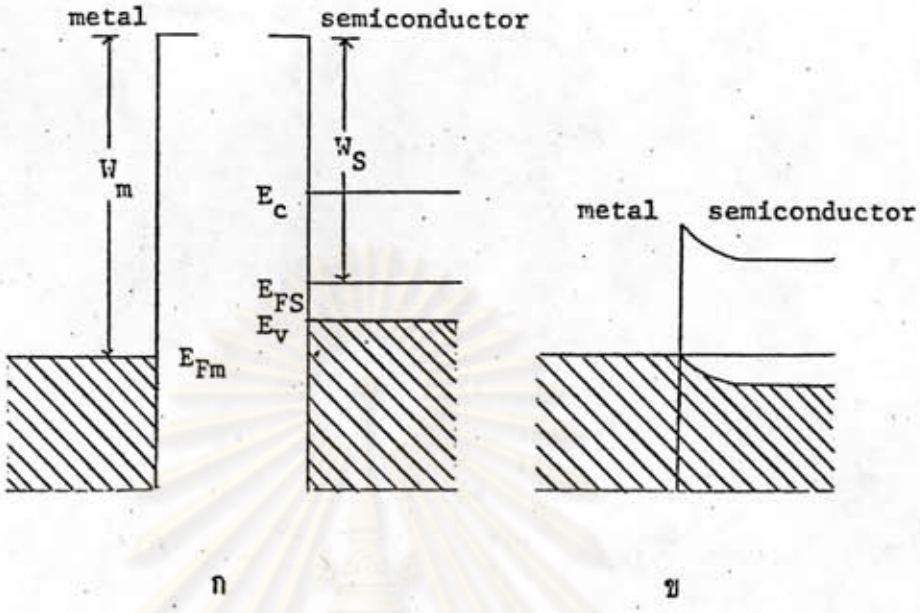


รูปที่ 4.2 แสดงรอยต่อแบบโอห์มมิคในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเมื่อ $w_m < w_S$

ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะเกิดกำแพงศักย์เมื่อ $w_m < w_s$ ดังรูป 4.3 และจะเกิดรอยต่อแบบโอห์มมิคเมื่อ $w_m > w_S$ ดังรูป 4.4



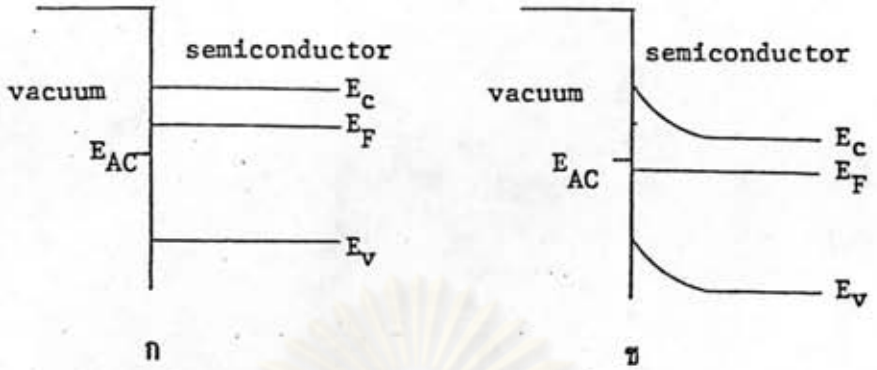
รูปที่ 4.3 แสดงการเกิดกำแพงศักย์ในสารกึ่งตัวนำชนิดพีเมื่อ $w_m < w_S$



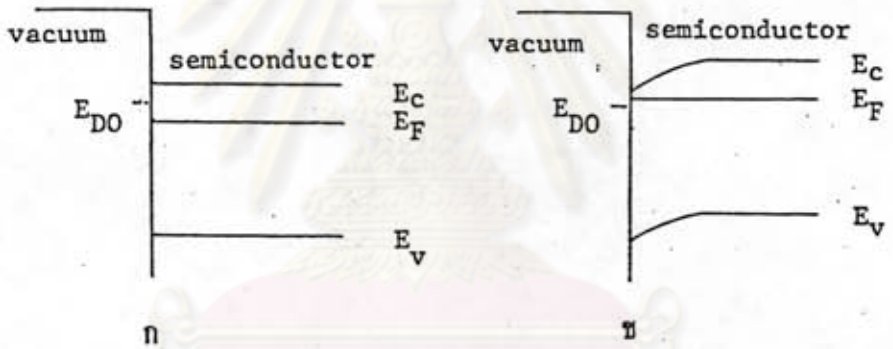
รูปที่ 4.4 แสดงรอยต่อแบบโอห์มิคในสารกึ่งตัวนำชนิดพีเมื่อ $W_m > W_S$

4.1.2 <u>กำแพงศักย์เกิดจากสถานะผิวของสารกึ่งตัวนำ</u> [20]

เมื่อความเป็นคาบของผลึกสิ้นสุดลงที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ จะทำให้เกิดสถานะผิวขึ้น โดยสถานะผิวนี้อาจเป็นสถานะเสมือนแอคเซพเตอร์ (acceptor like) คือ E_{AC} หรืออาจเป็นสถานะเสมือนดอนเนอร์ (donor like) คือ E_{DQ} ถ้าระดับพลังงานของสถานะผิวที่เสมือนแอคเซพเตอร์อยู่ต่ำกว่าระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ อิเลกตรอนอิสระจะไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังผิว ทำให้แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำโค้งขึ้น ดังรูป 4.5 หรือถ้าระดับพลังงานของสถานะผิวที่เสมือนดอนเนอร์อยู่เหนือระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ อิเลกตรอนอิสระจะไหลจากผิวไปยังสารกึ่งตัวนำ ทำให้แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำโค้งลง ดังรูป 4.6



รูปที่ 4.5 แสดงการโค้งของแถบพลังงานในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเนื่องจากสถานะผิว E_{AC} ที่เสมือนแอคเซพเตอร์



รูปที่ 4.6 แสดงการโค้งของแถบพลังงานในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเนื่องจากสถานะผิว E_{DO} ที่เสมือนดอนเนอร์

แต่ถ้าระดับพลังงานของสถานะผิวที่เสมือนแอคเซพเตอร์อยู่เหนือระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ หรือถ้าระดับพลังงานของสถานะผิวที่เสมือนดอนเนอร์อยู่ใต้ระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ ทั้งสองกรณีจะไม่มีการโค้งของแถบพลังงาน

4.1.3 กำแพงศักย์เกิดจากชั้นบาง ๆ ของสารอื่นที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ

ชั้นบาง ๆ ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำนี้มักจะเป็นพวกออกไซด์ (oxide) หรือไนไตรด์ (nitride) ในทางปฏิบัตินั้นยากที่จะหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดชั้นบาง ๆ นี้ เพราะโดยปกติแล้วผิวของสารกึ่งตัวนำจะสัมผัสกับอากาศ ออกซิเจนหรือไนโตรเจนในอากาศจึงมักทำปฏิกิริยากับสารกึ่งตัวนำเกิดเป็นชั้นบาง ๆ ซึ่งชั้นบาง ๆ นี้อาจทำให้เกิดกำแพงศักย์ได้ เพราะเหตุผลในข้อ 4.1.1 และ 4.1.2

4.2 วิธีที่ควรทำเมื่อต้องการรอยต่อแบบโอห์มิค

ในหัวข้อ 4.1 ได้แสดงให้เห็นถึงสาเหตุของการเกิดกำแพงศักย์ ดังนั้นถ้าต้องการรอยต่อแบบโอห์มิคคือไม่ต้องการกำแพงศักย์ จึงควรใช้วิธีดังนี้

ก. เลือกโลหะที่มีค่าเวิร์คฟังก์ชันน้อย ๆ สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และเลือกโลหะที่มีค่าเวิร์คฟังก์ชันมาก ๆ สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพี

ข. เลือกโลหะที่เป็นดอนเนอร์ (donor) เมื่อเป็นสิ่งเจือปน (impurity) เช่นพวกกรุปห้า สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นแล้วพยายามทำให้โลหะแพร่ (diffuse) เข้าไปในสารกึ่งตัวนำ เช่นอาจนำไปให้ความร้อน และเลือกโลหะที่เป็นแอคเซพเตอร์ (acceptor) เมื่อเป็นสิ่งเจือปน เช่นพวกกรุปสาม สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพี แล้วพยายามทำให้โลหะแพร่เข้าไปในสารกึ่งตัวนำ

ค. ถ้าทำตามข้อ ก. และ ข. แล้วก็ยังไม่ได้รอยต่อแบบโอห์มิค ลองทำให้ผิวของสารกึ่งตัวนำเป็นรอย เช่นลองขูดขีดผิวสารกึ่งตัวนำ วิธีนี้อาจจะทำให้ได้รอยต่อแบบโอห์มิคก็ได้ เพราะการขูดขีดจะทำให้เกิดสถานะผิวขึ้น ซึ่งสถานะผิวที่เกิดขึ้นนี้อาจทำให้ความสูงของกำแพงศักย์ลดน้อยลง จนทำให้รอยต่อกลายเป็นรอยต่อแบบโอห์มิคก็ได้